



Bloque IV: El nivel de red

Tema 11: Enrutamiento



Índice

- Bloque IV: El nivel de red
 - Tema 11: Enrutamiento
 - Introducción
 - Tabla de enrutamiento
 - Algoritmo de enrutamiento
 - Enrutamiento estático
 - Enrutamiento CIDR
 - Enrutamiento dinámico
- **Lecturas recomendadas:**
 - Capítulo 4, secciones 4.1 y 4.6, de “Redes de Computadores: Un enfoque descendente”. James F. Kurose, Keith W. Ross. Addison Wesley.
 - Capítulo 2, sección 2.4 “TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols”, W. Richard Stevens, Addison Wesley.



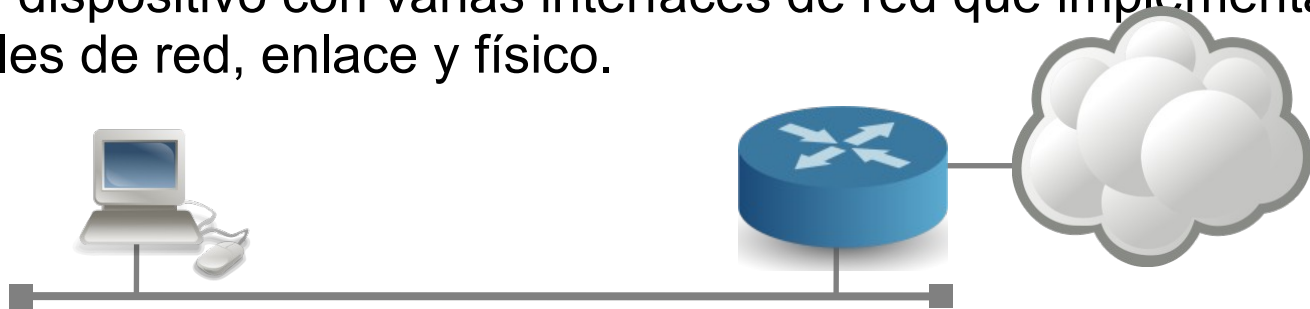
Introducción

- Modelos de servicio de red:
 - Entrega garantizada.
 - Entrega garantizada con retardo limitado.
 - Entrega de los paquetes en orden.
 - Ancho de banda mínimo garantizado: mientras no se supere la velocidad se garantiza el orden y un retardo máximo.
 - Fluctuación máxima garantizada: establece un límite entre dos paquetes consecutivos.
 - Seguridad.
- ¿Qué servicio ofrece IP? **Best-effort** → Lo mejor que pueda, ¡pero sin garantizar nada!



Introducción

- **Router:** dispositivo con varias interfaces de red que implementa los niveles de red, enlace y físico.



- El enrutamiento en IP se hace **salto a salto**:
 - Si el destino está directamente conectado a la máquina → Se envía el datagrama IP directamente al destino. Sino, se envía al **router por defecto**.
 - IP no conoce cuál es la ruta completa al destino final de un datagrama.
 - Sabe cuál es el siguiente router en el camino de un datagrama.
 - El siguiente router está directamente conectado a la máquina que envía el datagrama.



Introducción

- Componentes del enrutamiento:
 - **Tabla de enrutamiento:** contiene la información para el enrutamiento (destino, gateway, flags, interfaz, ...).
 - Todo dispositivo conectado a Internet tiene su tabla de enrutamiento.
 - Se almacena en memoria.
 - **Algoritmo de enrutamiento:** busca en la tabla de enrutamiento una entrada que se corresponda con la dirección de destino.
 - **Demonio de enrutamiento:** proceso que se ejecuta en el router para comunicarse con sus routers vecinos:
 - Determina los cambios (altas, bajas y modificaciones) sobre la tabla de enrutamiento.
 - No cambia el algoritmo de enrutamiento.
 - Pero determina la **política de enrutamiento** del sistema: elige las rutas a almacenar en la tabla de enrutamiento en función de la situación de la red.



Tabla de enrutamiento

- Cada entrada de la tabla de enrutamiento contiene la siguiente información:
 - Dirección IP de **destino**: puede ser un host (host ID != 0) o una dirección de red (host ID =0).
 - **Gateway**: dirección IP del siguiente router, en caso de ser necesario.
 - **Máscara** de subred
 - **Flags**:
 - Up (U): indica que esa entrada está activada.
 - Host (H): indica si la dirección IP de destino es de una red o de un host.
 - Gateway (G): indica que es necesario pasar por un router para llegar al destino.
 - Especificación de la **interfaz** de red a la que se debe pasar el datagrama para su envío.

Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
10.51.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth0
default	10.51.1.1	0.0.0.0	UG	eth0
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0

Direcciones link-local



Algoritmo de enrutamiento

- Algoritmo de enrutamiento: a partir de la IP de destino de un datagrama, busca la entrada correcta para su enrutamiento.
 - Establece la manera en la que se busca en la tabla de enrutamiento.
 - No importa el orden de las entradas en la tabla.
- 1. Para cada entrada de la tabla de enrutamiento, se aplica la Máscara a la IP de destino y se compara con la columna Destino. Si coinciden, se enruta a través de esa entrada.
 - Si el destino está directamente conectado (Flag G desactivado) → Se envía directamente a la interfaz de salida.
 - Sino (Flag G activado), es necesario pasar a través de un router → Se envía por la interfaz de salida indicada, al router.
 - En caso de empate entre varias entradas, se selecciona aquella con una máscara mayor (más unos) → **Longest match prefix**.
- 2. Se busca en la tabla de enrutamiento una entrada “default” (por defecto). Si se encuentra, se envía el paquete al router indicado.
 - En realidad, todas las IPs coincidirán con la entrada default.
- 3. Si ninguno de los pasos anteriores tiene éxito, se genera el error “Red inalcanzable”. Ha sido imposible entregar el datagrama.



Enrutamiento estático

- Tabla de enrutamiento de un host aislado v1.0:



Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
127.0.0.1	0.0.0.0	255.255.255.255	U H G	lo0

- Tabla de enrutamiento de un host aislado v2.0:



Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U H G	eth0



Enrutamiento estático

- Tabla de enrutamiento de un host conectado a una LAN:

IP: 10.51.1.10

IP: 10.51.1.23

IP: 10.51.1.58

IP: 10.51.1.75



LAN A - 10.51.1.0/24

v1.0

Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U H G	eth0
10.51.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U H G	eth0

VS.

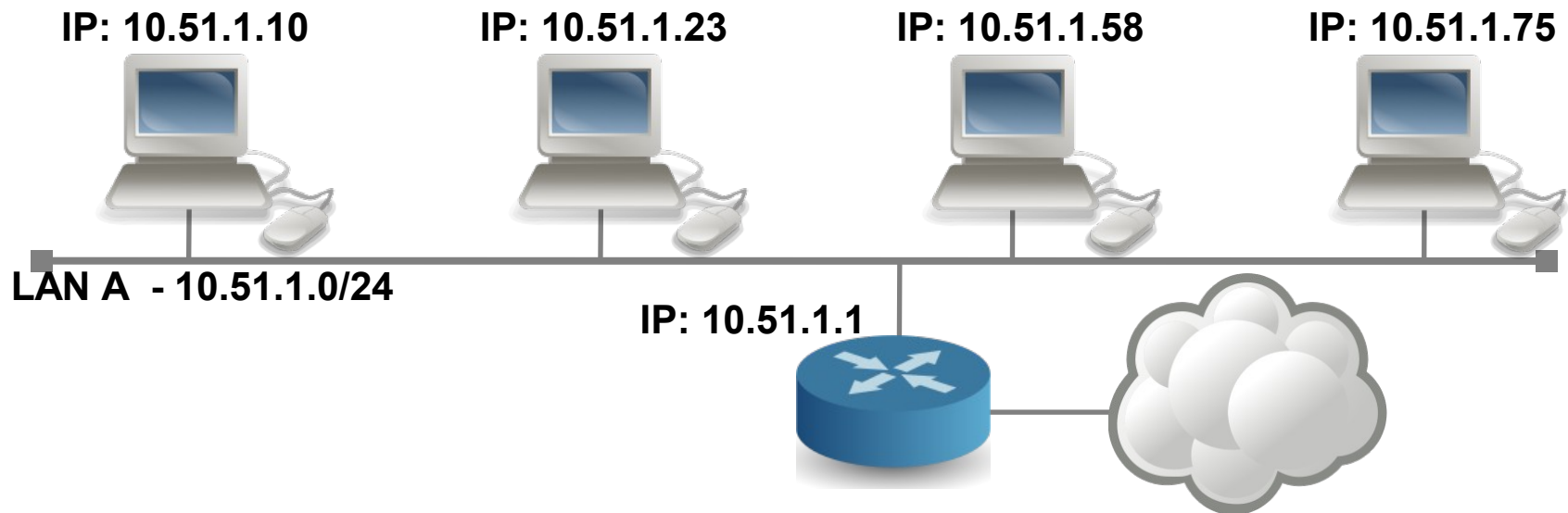
v2.0

Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U H G	eth0
10.51.1.23	0.0.0.0	255.255.255.255	U H G	eth0
10.51.1.58	0.0.0.0	255.255.255.255	U H G	eth0
10.51.1.75	0.0.0.0	255.255.255.255	U H G	eth0



Enrutamiento estático

- Tabla de enrutamiento de un host conectado a una red de área local con conexión a Internet a través de un router:



Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U H G	eth0
10.51.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U H G	eth0
default	10.51.1.1	0.0.0.0	U H G	eth0



Enrutamiento estático

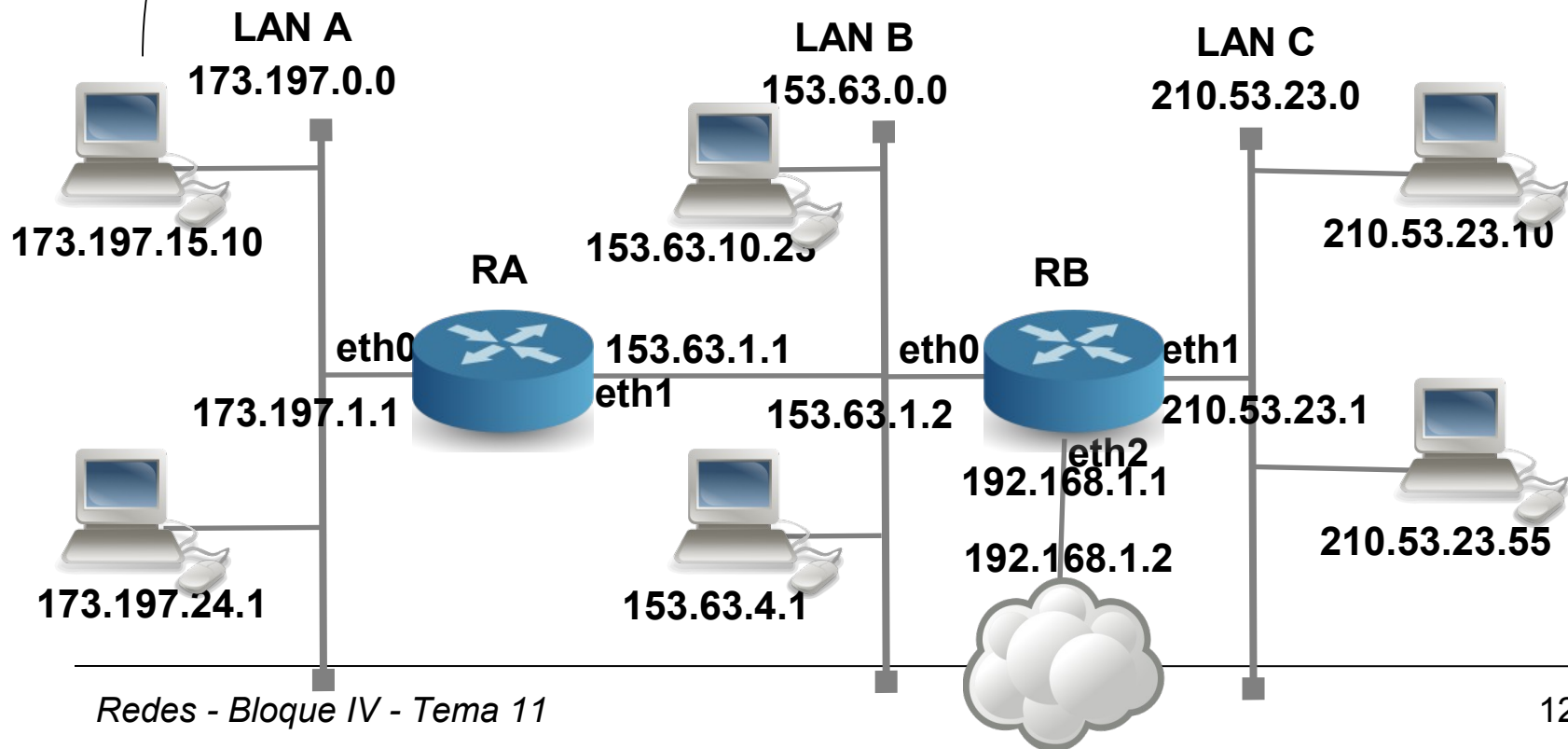


- En enrutamiento estático, las tablas de enrutamiento se mantienen mediante intervención humana → Válido para entornos reducidos y más o menos estables.
- Pero, ¿cómo se crean las tablas de enrutamiento?
- Para las redes directamente conectadas:
 - Cuando se configura una interfaz (manualmente o por DHCP), se crea una entrada para la red (o subred).
- Para las rutas indirectas:
 - Se definen mediante el comando **route**.
 - Cuando se obtiene el router por defecto (manualmente o por DHCP) → `route add default gw 10.51.1.1`
 - O cualquier otra ruta → `route add -net 192.168.20.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.0.2`
- En **enrutamiento dinámico**, los routers actualizan sus tablas de enrutamiento en función de los cambios de la red o de la carga de tráfico.



Enrutamiento estático: Ejemplo

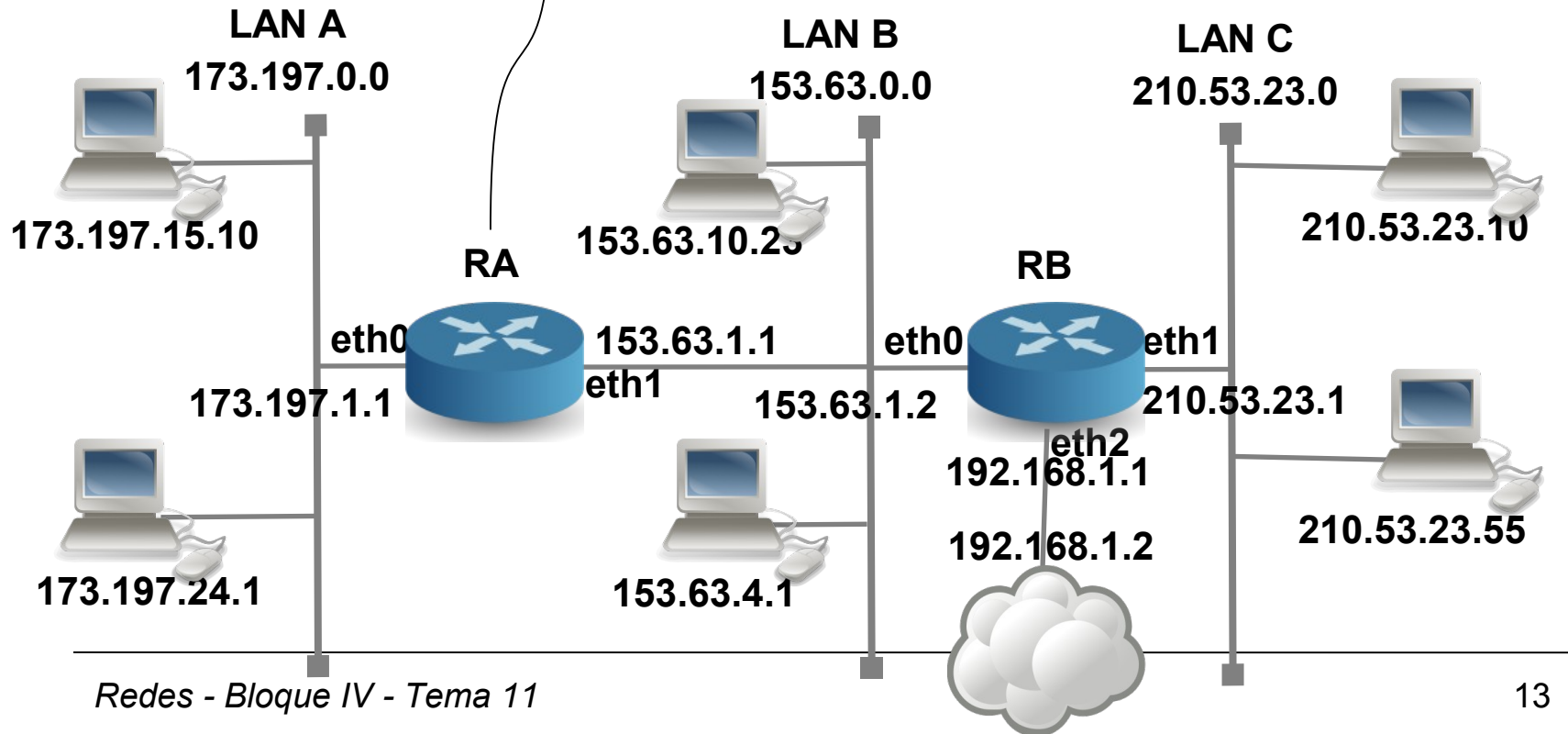
Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
173.197.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
default	173.197.1.1	0.0.0.0	U G	eth0





Enrutamiento estático: Ejemplo

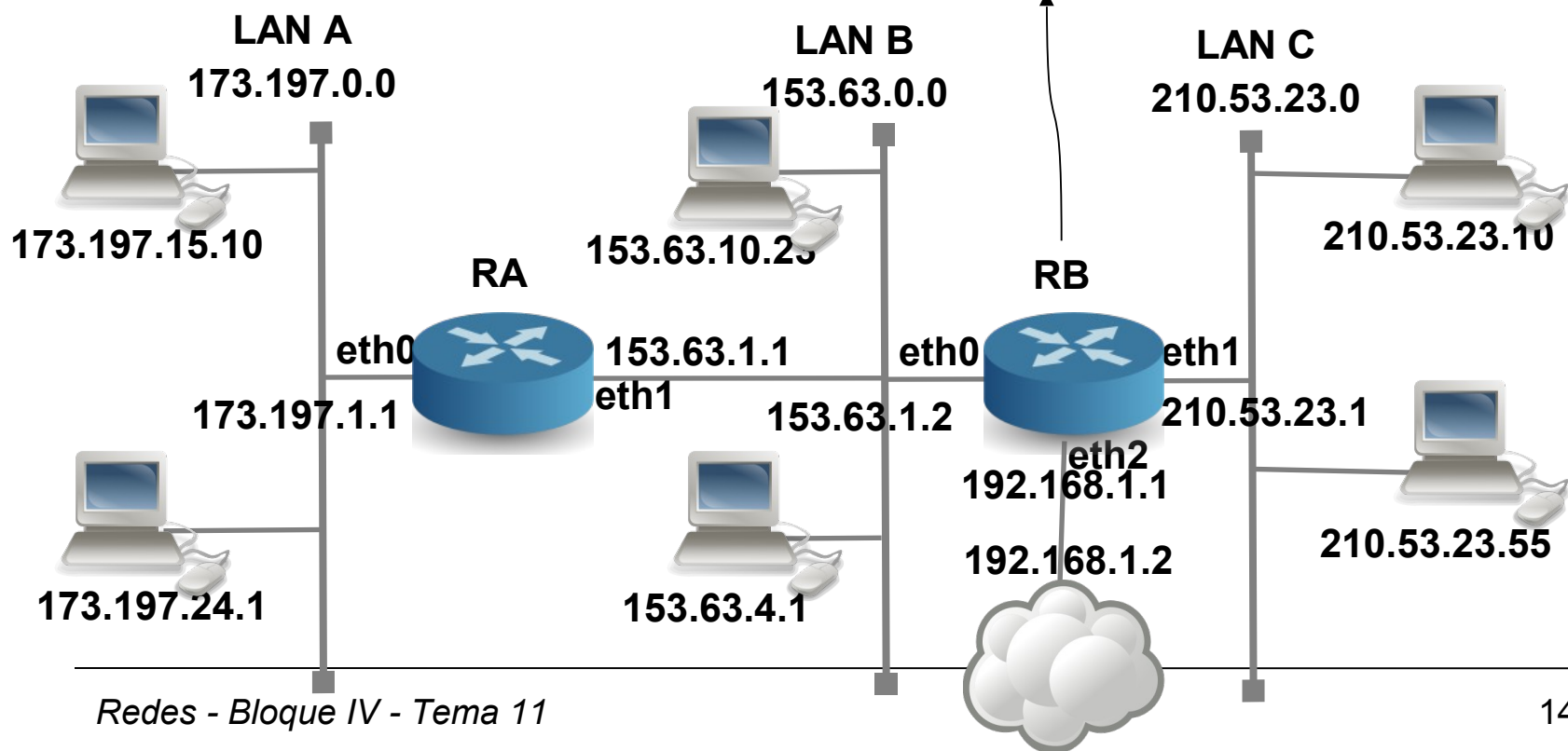
Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
173.197.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
153.63.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth1
default	153.63.1.2	0.0.0.0	U G	eth1





Enrutamiento estático: Ejemplo

Destino	Gateway	Máscara	Flags	Interfaz
153.63.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
210.53.23.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth1
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth2
default	192.168.1.2	0.0.0.0	U G	eth2
173.197.0.0	153.63.1.1	255.255.0.0	U G	eth0





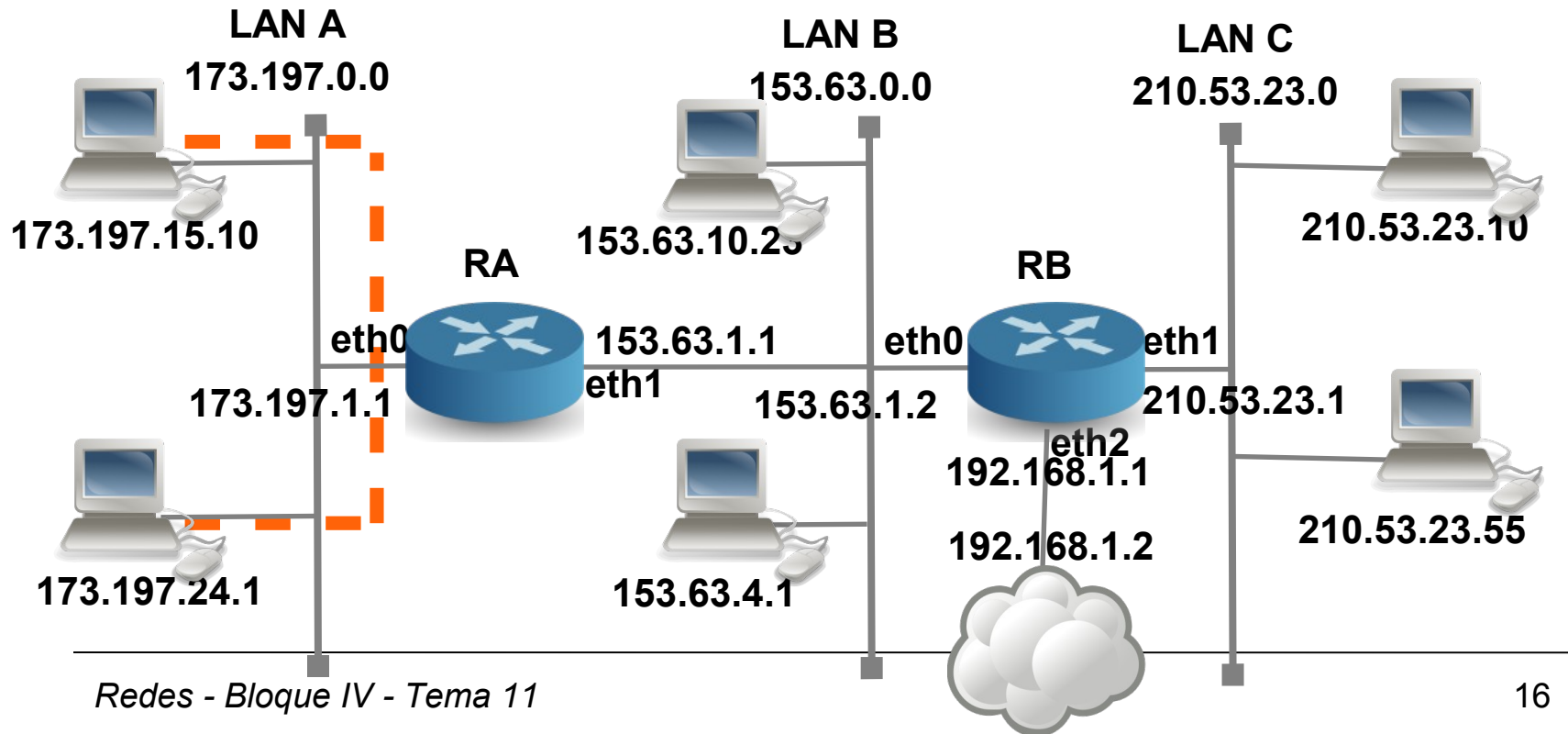
Enrutamiento estático: Ejemplo

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 173.197.24.1:
 - El nivel de red de 173.197.15.10 recibe un datagrama, con destino 173.197.24.1
 - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): 173.197.0.0 → Directamente conectada.
 - El datagrama se envía al nivel de enlace (p.e. Ethernet), que consigue la dirección Ethernet de destino utilizando ARP.



Enrutamiento estático: Ejemplo

Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(173.197.24.1)	Eth(173.197.15.10)	173.197.24.1	173.197.15.10	





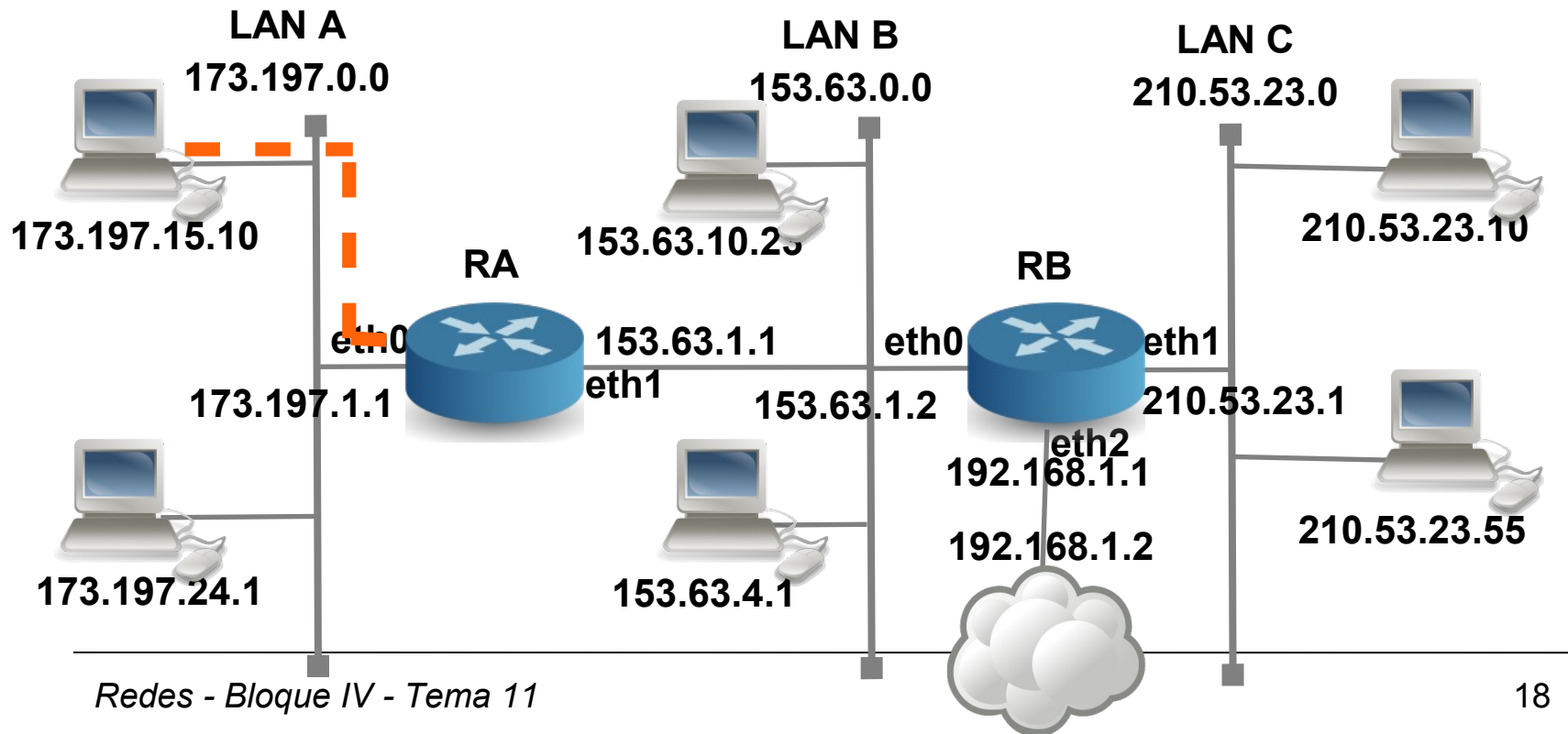
Enrutamiento estático: Ejemplo

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 1):
 - El nivel de red de 173.197.15.10 recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
 - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 173.197.1.1
 - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 173.197.1.1 (y dirección IP destino 156.95.76.53).



Enrutamiento estático: Ejemplo

Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(173.197.1.1)	Eth(173.197.15.10)	156.95.76.53	173.197.15.10	





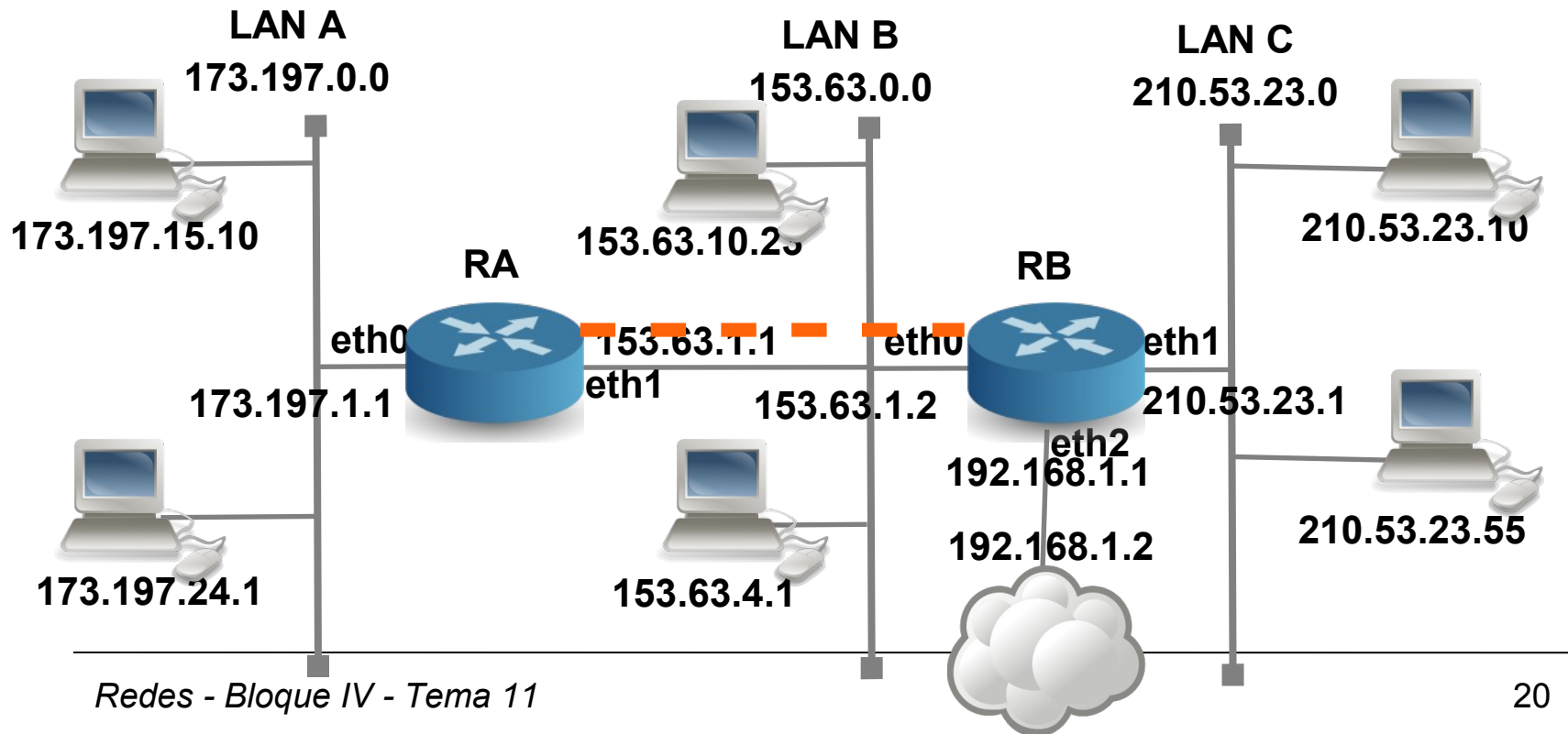
Enrutamiento estático: Ejemplo

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 2):
 - El nivel de red de 173.197.1.1 (RA) recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
 - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 153.63.1.2
 - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 153.63.1.2 (y dirección IP destino 156.95.76.53).



Enrutamiento estático: Ejemplo

Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(153.63.1.2)	Eth(153.63.1.1)	156.95.76.53	173.197.15.10	





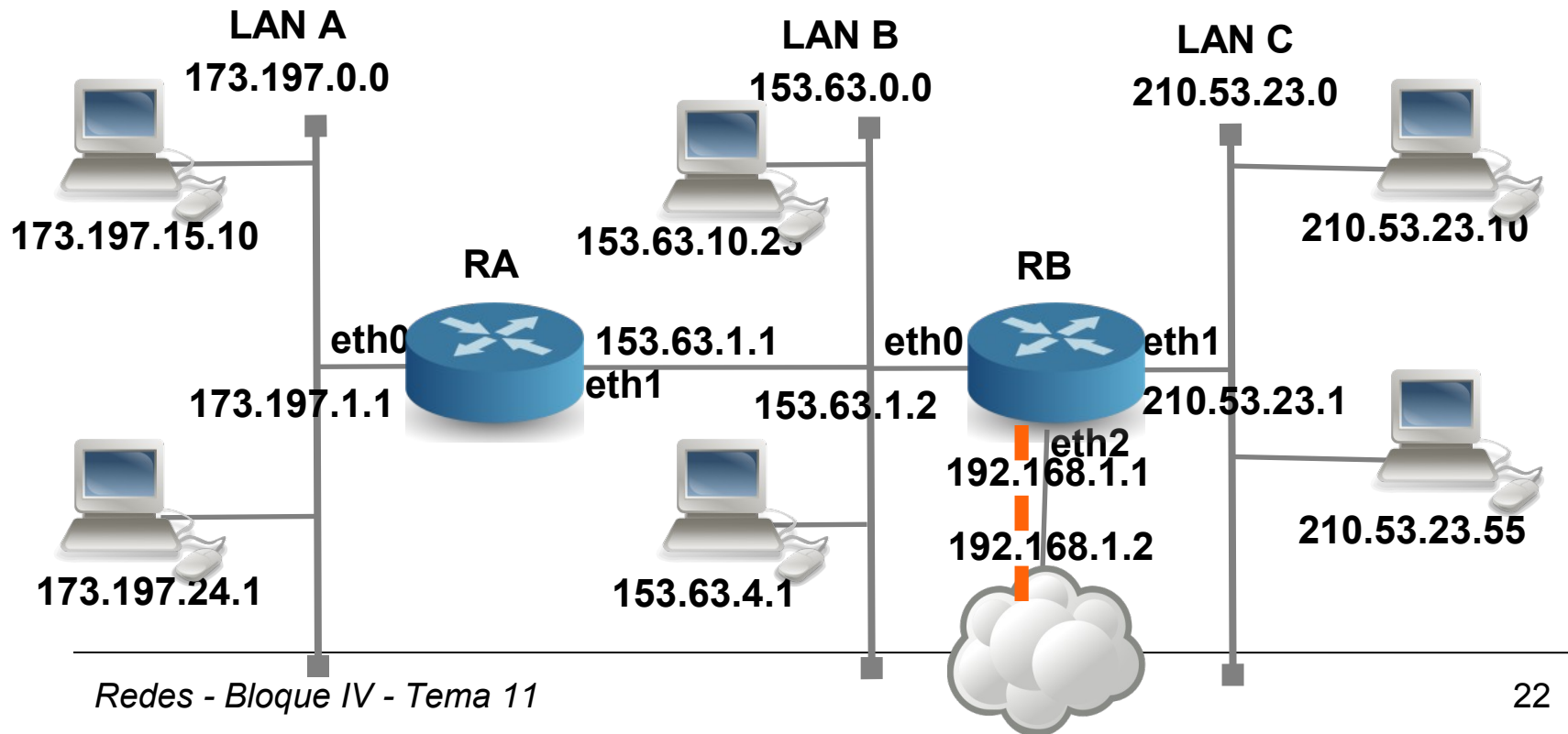
Enrutamiento estático: Ejemplo

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 3):
 - El nivel de red de 153.63.1.2 (RB) recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
 - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 192.68.1.2
 - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 192.68.1.2 (y dirección IP destino 156.95.76.53).



Enrutamiento estático: Ejemplo

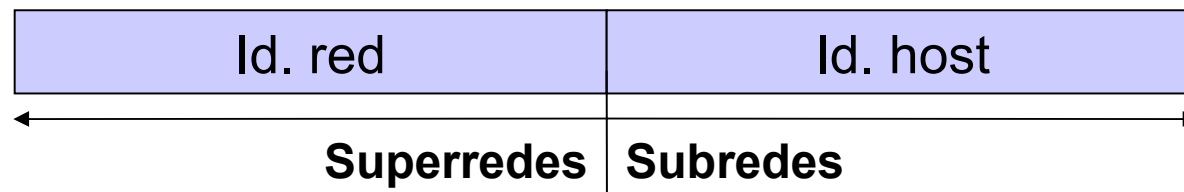
Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(192.168.1.2)	Eth(192.168.1.1)	156.95.76.53	173.197.15.10	





Enrutamiento CIDR

- Classless Interdomain Routing
- Direcciones IP de clase B se están agotando → Se asignan direcciones clase C a sitios con demandas de redes tipo B → Aumento vertiginoso de las tablas de enrutamiento.
- CIDR (especificado en los RFC 1518 y 1519), también denominado **superredes** (“supernetting”) previene este problema (aunque no deja de ser una solución temporal).
- Las superredes consisten en **agregar direcciones** y se definen mediante máscaras, pero sobre el identificador de red:
 - Red 194.10.160.0/20 (máscara 255.255.240.0)
 - Incluye las redes clase C: 194.10.160.0/24 hasta 194.10.175.0/24 (16 redes)
 - 160 = 1010 0000 175 = 1010 1111





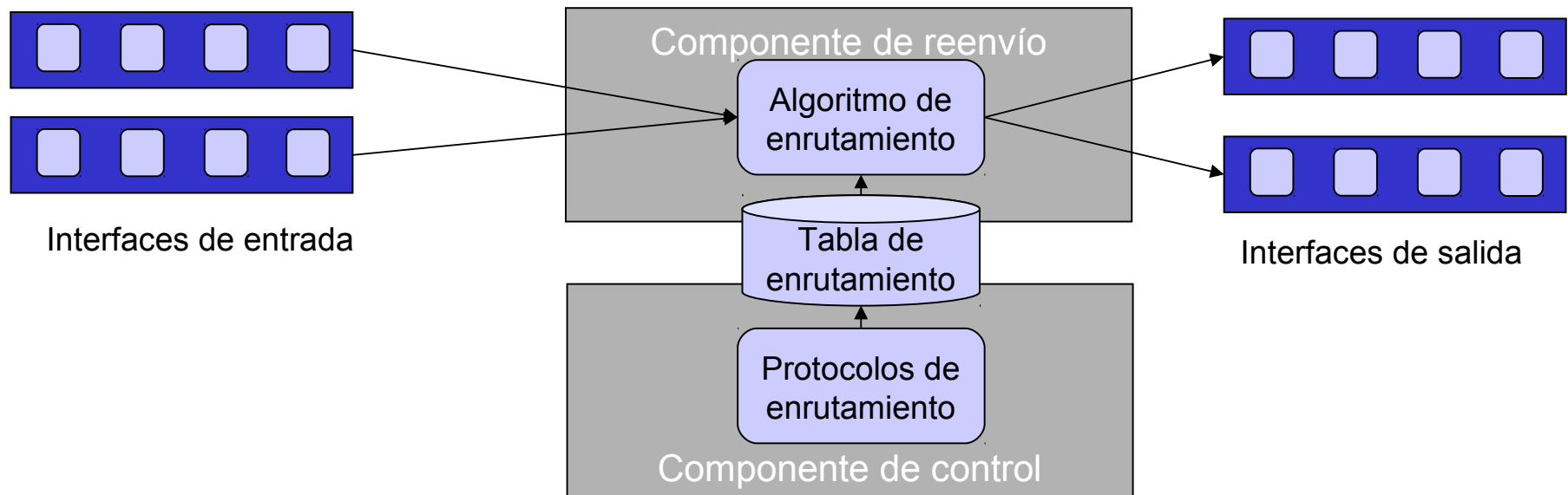
Enrutamiento CIDR

- Por ejemplo, el RFC 1466 propone la siguiente división por zonas geográficas:
 - Europa: 194.0.0.0 - 195.255.255.255
 - Otros: 196.0.0.0 - 197.255.255.255
 - Norteamérica: 198.0.0.0 - 199.255.255.255
 - Centro y Sudamérica: 200.0.0.0 - 201.255.255.255
 - Anillo Pacífico: 202.0.0.0 - 203.255.255.255
- Las redes tipo C europeas serían las 194.0.0.0/7 (máscara 254.0.0.0)
 - Con una sola entrada en las tablas de enrutamiento (fuera de Europa) se engloban 65535 redes tipo C.
- **Classless**: las clases de direcciones IP (A, B o C) no se tienen en cuenta → Se utiliza la dirección completa y máscaras de 32 bits.
- Enrutamiento basado en **longest match prefix**: en caso de dos entradas correctas en una tabla de enrutamiento se selecciona la máscara de “mayor longitud” (más unos).



Enrutamiento dinámico

- Un router consta de dos componentes:
 - **Componente de reenvío:** reenviar los paquetes desde la interfaz de entrada a la interfaz de salida.
 - **Componente de control:** responsable de la construcción y mantenimiento de la tabla de enrutamiento.





Enrutamiento dinámico

- Componente de control:
 - Uno o más protocolos de enrutamiento para intercambio de información de enrutamiento (OSPF, BGP, ...).
 - Procedimientos para convertir esta información en las tablas de reenvío (enrutamiento): vectores de distancia, estado de los enlaces, ...
 - Se encarga de las tareas de: mantener la tabla de enrutamiento, clasificar los paquetes (en IP no se clasifican) y organizar las colas (en IP no se organizan – cola FIFO).
- Componente de reenvío:
 - Procedimientos usados por un router para decidir el reenvío de un paquete a la interfaz de salida correcta → Tabla de enrutamiento + información de la cabecera.
 - Define la información utilizada de un paquete para encaminar el paquete + el proceso de búsqueda en la tabla de enrutamiento.
 - Tareas: decrementar el TTL y re-calcular el checksum, re-escribir la cabecera del nivel de enlace, regenerar la señal física.



Enrutamiento dinámico

- Los routers están continuamente comunicándose entre sí para enterarse de los cambios en la red → Utilizan protocolos de **enrutamiento dinámico**:
 - Necesarios con redes grandes, cuando hay más de un punto de conexión o hay routers redundantes (backup).
 - Un router informa a los routers adyacentes de qué redes tiene conectadas en ese momento.
 - El **demonio de enrutamiento** es el proceso que corre en el router que ejecuta el protocolo de enrutamiento y se comunica con sus routers vecinos.
- Internet está formada por una colección de sistemas autónomos (AS) administrados por un único responsable.
 - Normalmente cada proveedor u organización tiene al menos un sistema autónomo (a veces varios).
- Cada sistema autónomo elige el protocolo de enrutamiento que le interesa a nivel interno – IGP (Interior Gateway Protocol):
 - RIP: Routing Information Protocol
 - OSPF: Open Shortest Path First
- Y también se intercambia información entre AS's – EGP (Exterior Gateway Protocol):
 - BGP: Border Gateway Protocol